

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 195 30 826 C 1

⑤① Int. Cl.<sup>8</sup>:  
H 02 J 3/14  
H 02 J 3/28  
// G 08 F 17/60

②① Aktenzeichen: 195 30 826.3-32  
②② Anmeldetag: 22. 8. 95  
④③ Offenlegungstag: —  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 23. 1. 97

DE 195 30 826 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:

Brüderl, Dieter Rupert, 80339 München, DE; Mayr,  
Walter Otto, 83052 Bruckmühl, DE

⑦④ Vertreter:

Dr. Werner Geyer, Klaus Fehners & Partner, 80887  
München

⑦② Erfinder:

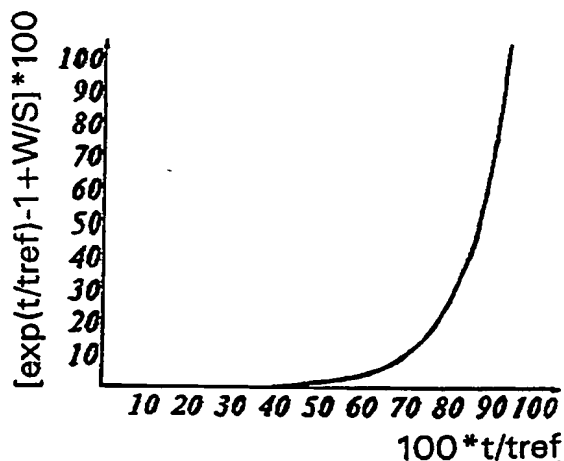
gleich Patentinhaber

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

EP 00 53 383 B2  
Technisches Manual »Allgemeine Informationen«,  
1994, Firma Ecotron Systemtechnik, Bruckmühl;

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Optimierung der Leistungsaufnahme bei einem Energieverteilungssystem

⑤⑦ Bei einem Verfahren zur Optimierung der Leistungsaufnahme bei einem Energieverteilungssystem mit mehreren Verbrauchern (1, 2, 3) durch Zu- und Abschalten mindestens eines Verbrauchers (1, 2, 3) mit Energiespeicherverhalten, bei dem eine Prioritätskenngröße für jeden der mindestens einen Verbraucher (1, 2, 3) für die Zeit in der dieser ab- bzw. angeschaltet ist, gewonnen wird und bei Bedarf derjenige Verbraucher (1, 2, 3) mit der höchsten Prioritätskenngröße ab- bzw. zugeschaltet wird, ist vorgesehen, daß die Prioritätskenngröße zeitlich gemäß einer Funktion verändert wird, mit deren Höhe und zeitlichem Verhalten das Energiespeicherverhalten des mindestens einen Verbrauchers (1, 2, 3) zumindest näherungsweise nachgebildet wird. Eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens enthält entsprechende Einrichtungen.



DE 195 30 826 C 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Optimierung der Leistungsaufnahme bei einem Energieverteilungssystem mit mehreren Verbrauchern durch Zu- und Abschalten mindestens eines Verbrauchers mit Energiespeicherverhalten, bei dem eine Prioritätskenngröße für jeden der mindestens einen Verbraucher für die Zeit in der dieser ab- bzw. angeschaltet ist, gewonnen wird und bei Bedarf derjenige Verbraucher mit der höchsten Prioritätskenngröße ab- bzw. zugeschaltet wird. Ferner bezieht sich die Erfindung auf eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, bei der mindestens eine ansteuerbare Schalteinrichtung zum Zu- und Abschalten mindestens eines Verbrauchers mit Energiespeicherverhalten und eine Steuereinrichtung zum Ansteuern dieser Schalteinrichtung vorgesehen sind, die so aufgebaut ist, daß eine Prioritätskenngröße für jeden der mindestens einen Verbraucher für die Zeit, in der dieser ab- bzw. angeschaltet ist, gewonnen wird und die Steuereinrichtung aufgrund der Prioritätskenngröße Signale erzeugt, mit denen bei Bedarf derjenige Verbraucher mit der höchsten Prioritätskenngröße ab- bzw. zugeschaltet wird.

Derartige Energieverteilungssysteme sind bekannt. Sie sind notwendig geworden, da die Energieversorgungsunternehmen bei ihren Tarifen nicht nur die verbrauchte Gesamtenergie sondern auch dem Netz entnommene Spitzenleistungen berücksichtigen. Eine gleichmäßige Leistungsentnahme liegt deshalb tariflich günstiger als eine Gesamtenergieentnahme in einer einzigen hohen Leistungsspitze einmal am Tag. Deshalb ist es wichtig, den Energiebedarf einer Anlage möglichst gleichmäßig zu halten.

Das läßt sich beispielsweise in einem Hotel mit Gaststättenbetrieb dadurch erreichen, daß während der Mittags- oder Abendzeit, in der viel Energie zum Kochen benötigt wird, die Sauna abgeschaltet wird. In diesem vereinfachten Beispiel kann dies von Hand erfolgen. Komplexere Systeme verschiedener Verbraucher sind aber nur über eine Automatik hinreichend gut optimierbar. Jedoch demonstriert dieses vereinfachte Beispiel die Arbeitsweise derartiger Energieverteilungssysteme.

Wesentlich wirksamere Maßnahmen gegenüber der Stilllegung ganzer Leistungsgruppen bestehen darin, die mittlere Leistungsentnahme, beispielsweise auch beim Kochen, zu begrenzen. Eine Kochplatte, die schon aufgeheizt ist, kann durchaus über einen kürzeren Zeitraum ausgeschaltet werden, da diese wegen ihres Energiespeicherverhaltens nur langsam abkühlt.

Derartige kurzzeitigen Abschaltungen werden üblicherweise durch speziell ausgelegte Steuereinrichtungen gesteuert, die eine Meldung der Verbraucher für eine Leistungsanforderung erhalten, und die nötige Energiezufuhr aufgrund der Anschlußwerte der Verbraucher durch An- und Abschalten optimieren. Dabei optimiert die Steuereinrichtung die momentane Leistungsaufnahme durch Schalten dieser Verbraucher mit Energiespeicherverhalten entsprechend eingegebener Anschlußwerte. Bei Auslegung einer derartigen Steuereinrichtung kann ferner berücksichtigt werden, daß es beispielsweise Verbraucher gibt, die nicht abgeschaltet werden sollten, wie beispielsweise eine Brot- oder Wurstschneidemaschine in einer Hotelküche, bei der ein plötzliches für einen Koch unerwartetes Anschalten zu ein erhöhten Unfallgefahr führen könnte.

Derartige Energieverteilungssysteme sind heute in Gaststätten- und Hotelbetrieben, wie auch in Werks-

kantinen in Gebrauch, da ein deutlicher Spareffekt erzielt wird. Die Steuergeräte sind auch genügend wenig aufwendig, so daß sich diese schnell amortisieren.

Grundlegende Informationen über derartige Systeme sind in den Handbüchern für diese Systeme, beispielsweise in den Technischen Manuals "Allgemeine Informationen", 1994, der Firma Ecotron Systemtechnik, Föhrenstraße 53a, 83052 Bruckmühl, angegeben.

Die EP 0 053 383 B1 beschreibt ebenfalls ein derartiges System. Bei diesem wird jedem Verbraucher eine Prioritätskenngröße zugeordnet, aufgrund derer mit Hilfe einer Steuerungseinrichtung entschieden wird, welcher Verbraucher bei Bedarf zu- oder abgeschaltet wird. In diese Prioritätskenngröße können folgende auf den aktuellen Stand gehaltene Parameter eingehen:

1. Der Stromverbrauch in der Anheizphase,
2. Die gesamte Zeitspanne seit dem Übergang eines Verbrauchers von einem Schaltzustand zu einem anderen Schaltzustand,
3. Die gesamte Zeitspanne, in der sich ein Verbraucher in dem momentan aktuellen Schaltzustand befindet,
4. Das Verhältnis der gesamten Zeitspanne eines Stromverbrauchers im Schaltzustand zur Gesamtzeit des letzten Zyklus.

Wie aus diesen Parametern zu ersehen ist, haben diese Werte nur indirekt etwas mit dem Energiespeicherverhalten zu tun. Die geeignete Auswahl von Prioritätskenngrößen beruht im wesentlichen auf Erfahrung, um diese aus derartigen Parametern zu bilden. Dies ist unbefriedigend, da nie sichergestellt ist, daß die aufgrund dieser Werte verringerte Leistungsaufnahme wirklich optimal ist.

Prinzipiell könnte die Temperatur beispielsweise einer Heizplatte gemessen und bei der Definition der Prioritätskenngröße mit verknüpft werden. Dies ist aufwendig, da dann zusätzliche Leitungen zur Übermittlung der Temperatur an die Steuereinrichtung benötigt werden. Weiter könnten keine standardmäßig für Küchen und Großgeräte lieferbare Geräte eingesetzt werden. Ein Umbau wäre immer erforderlich.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine dazugehörige Vorrichtung zu finden, mit dem ein Energieverteilungssystem bezüglich der geringstmöglichen Leistungsaufnahme bei nur wenig Zusatzaufwand gegenüber bestehenden Verfahren und Vorrichtungen verbessert werden kann.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 1 bzw. 4 gelöst.

Unerwarteterweise läßt sich das obengenannte Prinzip der Temperaturbestimmung erfindungsgemäß mit verringertem Aufwand einsetzen, indem allerdings die Temperatur nicht gemessen wird, sondern die Änderung der Temperatur mindestens näherungsweise modellhaft nachgebildet wird. Der Zusatzaufwand gegenüber bestehenden Verfahren und Vorrichtungen nach dem Stand der Technik ist daher gering. Zusätzliche Temperaturfühler und ein Umbau bestehender Verbraucher sind nicht erforderlich. Prinzipiell, zum Beispiel wenn das Verfahren mit Hilfe eines Computers durchgeführt wird, reduziert sich der Zusatzaufwand im wesentlichen auf eine Softwareänderung zur Bestimmung des Prioritätskenngrößen, also auf reine Entwicklungskosten, die bei entsprechenden Stückzahlen den Preis eines derartigen Computersystems in nur vernachlässigbarer Weise anheben.

Gegenüber der beispielsweise genannten Temperaturmessung hat das Verfahren auch den Vorteil, daß der wahre zu optimierende physikalische Parameter, nämlich die Leistung, simuliert werden kann. Die Temperatur spiegelt dagegen nur indirekt die Leistung wieder, da ein Temperaturabfall auch von der Umgebungstemperatur, der Wärmekapazität des erhitzten Gutes usw. abhängt. Deshalb kann mit dieser Simulation eine wesentlich bessere Optimierung durchgeführt werden.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung weist die Prioritätskenngröße mindestens einen Summanden mit exponentiellem Zeitverhalten auf.

Aufgrund der Weiterbildung wird eine vereinfachte Näherung für das Energiespeicherverhalten des Verbrauchers verwendet. Ein exponentielles Verhalten nach dem Zuschalten eines Verbrauchers oder auch dessen Abschalten liefert eine einfaches und nahezu wirklichkeitsgetreues Modell für die Leistungszunahme und Leistungsabnahme eines Verbrauchers. Dieses exponentielle Verhalten kann zwar nicht berücksichtigen, daß sich die Wärmekapazität des Kochgutes beispielsweise während des Kochens von Wasser aufgrund Verdampfens zeitlich ändert, die Praxis hat jedoch gezeigt, daß derartige Effekte bei einer wirkungsvollen Optimierung nur unwesentlich beitragen. Der Aufwand bleibt bei der exponentiellen Leistungssimulation, die Eingang in die Prioritätskenngröße findet, minimal.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird eine charakteristische Zeit für das exponentielle Zeitverhalten gemessen.

Damit kann die vorhergehend genannte Weiterbildung wesentlich verbessert werden. Mit einer Messung können auch Änderungen in der Wärmekapazität berücksichtigt werden, wie folgendes Beispiel deutlich macht.

Die Zeitkonstante spiegelt sich beispielsweise bei einem thermostatgesteuerten Verbraucher in der Aus- und Einschaltzeit des Thermostats wieder. Diese ist über die zeitliche Erfassung der Leistungsanforderung durch die einzelnen Verbraucher zugänglich, so daß für eine derartige Weiterbildung der Erfindung nur ein geringer Aufwand, wie beispielsweise eine Softwareänderung, benötigt wird.

Die Thermostatzeit spiegelt die Leistungsaufnahme in gleicher Weise wieder, wie sie auch im exponentiellen Verhalten für die Prioritätskenngröße zum Ausdruck kommt. Wenn die in der Prioritätskenngröße zur Simulation der gespeicherten Energie im Verbraucher berücksichtigte Zeitkonstante für den exponentiellen Abfall dieser Thermostatzeit proportional gesetzt wird, werden die Effekte veränderlicher Wärmekapazitäten gleichzeitig mitberücksichtigt.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens geht vom eingangs genannten Stand der Technik aus und ist durch jeweils eine Einrichtung zum Erzeugen einer vom Zeitpunkt des Zu- und Abschaltens des Verbrauchers sich zeitlich ändernden Ausgangsgröße zur Simulation des Energieverlusts und der Energiezunahme aufgrund des Energiespeicherverhaltens für jeden der mindestens einen Verbraucher, die den Wert der Prioritätskenngröße mitbestimmt, gekennzeichnet.

Diese Vorrichtung eignet sich insbesondere wegen ihres geringen Aufwandes zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Verglichen mit Vorrichtungen gemäß dem Stand der Technik ist nur eine Einrichtung zur Erzeugung des dargestellten Ausgangsgröße notwendig. Diese Einrichtung kann zwar zur Darstel-

lung eines sehr komplizierten Sachverhalts sehr komplex, beispielsweise als Analogrechner, ausgeführt werden oder mittels eines Mikroprozessors bzw. innerhalb eines Computerprogramms durch ein digitales Programm gewonnen werden, die Praxis hat jedoch gezeigt, daß wenig aufwendige Einrichtung zur näherungsweise Simulation ausreichen.

Eine starke Vereinfachung wird bei einer vorzugsweisen Weiterbildung der Erfindung erreicht, bei der die Einrichtung die sich zeitlich ändernden Ausgangsgröße exponentiell zunehmend oder abnehmend erzeugt. Bei einer digitalen Steuerung läßt sich dies deshalb sehr einfach erreichen, weil Exponentialfunktionen üblicherweise zum Softwareumfang handelsüblicher Rechner gehören.

Insbesondere wird der geringe benötigte Aufwand zur Simulation des physikalischen Sachverhalts bei Vergleich mit einer einfachen Analogschaltung deutlich: Zeitlich exponentiell verlaufende Spannungen lassen sich bekanntermaßen an einem Kondensator, der über einen Widerstand geladen oder entladen wird, verwirklichen. Wenn die Spannung, die den Kondensator über den Widerstand lädt, gleichzeitig mit dem Ab- und Zuschalten des Verbrauchers zu- und abgeschaltet wird, liegt, bei entsprechender Dimensionierung von Widerstand und Kondensator, am Kondensator eine Spannung an, die den gespeicherten Energieinhalt simuliert.

Diese äußerst einfache Schaltung bietet in der Art und Weise eines Analogrechners ein physikalisches Modell für das Energiespeicherverhalten, wobei modellmäßig die Kapazität des Kondensators das Energiespeicherverhalten der Kochplatte simuliert. Wenn statt des einen Widerstands zwei Widerstände zum Laden und Entladen bei Zu- bzw. Abschalten des Verbrauchers gewählt werden, können auch die charakteristischen Größen für die Energiezunahme und die Energieabnahme des Verbrauchers einfach nachgebildet werden.

Das Beispiel zeigt, daß die Leistungsaufnahme bei Verwendung von Exponentialfunktionen in außerordentlich einfacher Weise mit Hilfe einer hier als Spannung vorliegenden Ausgangsgröße simulierbar ist. Aufgrund der Ähnlichkeiten des Speicherverhaltens eines Kondensators und eines energiespeichernden Verbrauchers, wie beispielsweise einer Kochplatte, ist eine nahezu realistische Simulation des Energiespeicherverhaltens von jedem Verbraucher möglich.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist eine Meßeinrichtung vorgesehen, mit der die Zeitkonstante für den exponentiellen Verlauf ermittelbar ist. Mit Hilfe dieser Vorrichtung läßt sich das oben dargestellte Verfahren in einfacher Weise durchführen, bei dem die Zeitkonstante gemessen wird. Die beim Verfahren genannten Vorteile beziehen sich auch auf die Vorrichtung.

Insbesondere enthält bei einer bevorzugten Weiterbildung, bei der mindestens ein Verbraucher mit Hilfe eines Thermostats gesteuert ist, die Meßeinrichtung eine Uhr und/oder einen Taktgenerator, mit dem eine über die Meßeinrichtung erfaßbare Ab- bzw. Anschaltzeit des Thermostats erfaßbar ist und die Zeitkonstante proportional zur Ab- bzw. Anschaltzeit des Thermostats gebildet wird.

Wie vorhergehend schon erwähnt wurde, kann die Thermostatzeit aus den Zeitpunkten zur Energieanforderung nach Einschalten gewonnen werden. Falls die Thermostatschaltung selbst nicht zugänglich ist, kann die Thermostatzeit auch aus den Lastsprüngen bei Ermittlung der Gesamtleistung bestimmt werden: Wenn

eine Mikroprozessorsteuerung eingesetzt wird, die mit Hilfe aller durchgeführten Schaltzyklen eine n-parametrische Kurvenanpassung an den zeitlichen Verlauf der Gesamtleistungsaufnahme unter Berücksichtigung des Zu- und Abschaltens der einzelnen Verbraucher durch die Steuereinrichtung einzelner Verbraucher durchführt, bei der die n Parameter die zu ermitteln den Thermostatzeiten bedeuten. Mathematische Verfahren zur Kurvenanpassung sind bekannt, so daß hier nicht näher darauf eingegangen werden soll.

Wie schon mehrfach erwähnt wurde, läßt sich die Vorrichtung insbesondere dann in einfacher Weise verwirklichen, wenn die Steuereinrichtung einen PC oder eine frei programmierbare Mikroprozessorschaltung aufweist, in denen die Einrichtung zum Erzeugen der zeitlich veränderlichen Ausgangsgröße und/oder die Meßeinrichtung zur Messung der Thermostatzeit als Teile eines Programms verwirklicht sind.

Die Erfindung wird im folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels in Verbindung mit der Zeichnung weiter verdeutlicht. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 eine Zeitabhängigkeit einer im Ausführungsbeispiel verwendeten Prioritätskenngröße.

In Fig. 1 ist der prinzipielle Aufbau einer Vorrichtung zur Energieoptimierung dargestellt. Bezüglich ihrer Gesamtleistungsaufnahme optimierte Verbraucher sind dort mit den Bezugszeichen 1, 2, 3 versehen. Die Zuführung von Elektrizität erfolgt über die an der rechten Seite der Zeichnung dargestellten Anschlüsse. Die elektrische Leistung wird über eine Meßeinrichtung 4 auf eine gemeinsame Stromversorgung 5, 6, 7 geführt, von der aus sie an die Verbraucher 1, 2, 3 verteilt wird.

Mit Hilfe der Meßeinrichtung 4 wird die Gesamtleistung aller Verbraucher 1, 2 und 3 gemessen. Die Leistungserfassung erfolgte im Ausführungsbeispiel aufgrund einer Strommessung über eine induktive Kopplung an die über die Anschlüsse eingeleiteten, zu den Verbrauchern 1, 2, 3 geführten Ströme. Weiter wurde auch ein Phasenfaktor des Stromes relativ zu der angelegten Spannung in aus dem Stand der Technik bekannter Weise berücksichtigt.

Der in der Meßeinrichtung 4 ermittelte Meßwert für die Gesamtleistungsaufnahme wird an eine Steuereinrichtung 8 übermittelt, die aufgrund der gemessenen Gesamtleistung entscheidet, ob die Gesamtleistung oberhalb eines vorgegebenen Grenzwertes liegt und deswegen eine Verminderung der Leistungsaufnahme durch Abschalten mindestens eines der Verbraucher 1, 2, 3 erfolgen muß.

Zum Zu- und Abschalten ist für je einen der Verbraucher 1, 2, 3 eine Schalteinrichtung 9, 10, 11 vorgesehen. Die Schalteinrichtungen 9, 10, 11 sind mit der Steuereinrichtung 8 über einen bidirektionalen Bus 12 verbunden. Diese Schalteinrichtungen 9, 10, 11 erfassen die Leistungsanforderung, beispielsweise das Einschalten eines Herdes in einer Küche, desjenigen Verbrauchers 1, 2, 3, an den sie angeschlossen sind. Die Information, daß von einem bestimmten Verbraucher 1, 2 oder 3 Leistung angefordert wird, wird der Steuereinrichtung 8 von den Schalteinrichtungen 9, 10, 11 über den bidirektionalen Bus 12 übermittelt.

Der bidirektionale Bus 12, dient weiter in der entgegengesetzten Richtung, von der Steuereinrichtung 8 zu den Schalteinrichtungen 9, 10, 11, dazu, eine bestimmte der Schalteinrichtungen 9, 10, 11 zu adressieren und ihr

zu signalisieren, ob der über das Adressieren angesprochene Verbraucher 1, 2, 3 an- oder abgeschaltet werden soll. Das An- und Abschaltsignal wird in der angesprochenen Schalteinrichtung 9, 10 oder 11 gespeichert, so daß der Bus 12 nach Übermittlung des Signals wieder für weitere Signale frei ist.

Mit dem gespeicherten An- oder Abschaltsignal werden Relais geschaltet, deren Arbeitskontakte die Leistung von der Stromversorgung 5, 6, 7 jeweils auf einen Leistungsteil des ausgewählten Verbrauchers 1, 2, 3 schalten.

Liegt die Gesamtleistung unter dem vorgegebenen Grenzwert, schaltet die Steuereinrichtung 8 denjenigen Verbraucher 1, 2 oder 3, von dem sie über den Bus 12 eine Leistungsanforderung erhalten hat, ein.

Wenn dagegen der Grenzwert von der Gesamtleistung überschritten wird, beginnt der Energieoptimierungsprozeß. Verbraucher 1, 2, 3 mit Energiespeicherverhalten werden dann zwischenzeitlich abgeschaltet. Um zu entscheiden, welcher von mehreren Verbrauchern 1, 2, 3 bei Absinken der Leistung wieder zugeschaltet werden kann, werden von der Steuereinrichtung 8 Prioritätskenngrößen für jeden Verbraucher 1, 2, 3 gebildet, aufgrund welcher der Verbraucher 1, 2, 3 bestimmt wird, der als erster wieder zugeschaltet werden muß, bzw. bestimmt wird, welcher andere Verbraucher 1, 2, 3 zwischenzeitlich abgeschaltet werden kann, weil er schon genügend Energie gespeichert hat.

Wie einleitend schon an mehreren Beispielen beschrieben wurde, kann die Steuereinrichtung 8 mit konventioneller Schaltungstechnik sowohl analog als auch digital ausgeführt werden. Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 wurde jedoch ein Computer eingesetzt, der zur Berechnung der Prioritätskenngröße programmiert war und den bidirektionalen Bus 12 steuerte.

Dieser Computer enthält auch einen internen Taktgenerator, mit dem die zeitliche Abfolge des Zu- und Abschaltens gesteuert wird. Bei anderen Steuerungseinrichtungen 8, die beispielsweise in konventioneller Technik digital oder analog aufgebaut sind, kann ein derartiger Taktgenerator oder eine Uhr mit einem Oszillator und/oder einem Zähler in bekannter Bauweise aufgebaut werden.

Neben der Steuerungsfunktion kann der Taktgenerator oder die Uhr auch zur Aufnahme der zeitabhängigen Gesamtleistung verwendet werden, deren zeitlicher Verlauf beispielsweise, wie später beschrieben, zur Bestimmung der im Verfahren eingesetzten Zeitkonstanten verwendbar ist.

Die im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 berechnete Prioritätskenngröße wurde in vorgegebenen Zeitintervallen für jeden Verbraucher 1, 2, 3 neu berechnet. In Abhängigkeit der zwischen dem Zu- oder Abschalten eines Verbrauchers 1, 2, 3 vergangenen Zeit wurde dabei die Energiezunahme oder -abnahme im Verbraucher 1, 2, 3 gemäß einem genäherten Modell für jeden Verbraucher 1, 2, 3 gebildet.

Als geeignet zur genäherten Berechnung des Energiespeicherverhaltens oder des Energieverlustes haben sich dabei exponentielle Funktionen erwiesen, da sich mit diesen Aufheizverhalten und Abkühlverhalten mathematisch einfach und den wirklichen Verhältnissen sehr nahe kommend beschreiben lassen.

Zur Berechnung der Prioritätskennziffer für ein erneutes Zuschalten eines Verbrauchers 1, 2, 3 wurde insbesondere der Ausdruck

$$100 \cdot [\exp(t/t_{\text{ref}}) - 1 + W/S]$$

verwendet, bei dem  $t$  die vom Zeitpunkt des Abschaltens des Verbrauchers 1, 2, 3 vergangene Zeit,  $t_{ref}$  eine Zeitkonstante für den Leistungsverlust des betreffenden Verbrauchers 1, 2, 3 ist und  $W$  bzw.  $S$  zwei Konstanten sind, die eine individuelle Anpassung an verschiedene Verbrauchertypen ermöglichen und die erst später ausführlicher diskutiert werden. Für die folgenden Betrachtungen soll vorerst angenommen werden, daß  $W = 0$  ist.

In dem Ausdruck ist weiter ein Faktor 100 enthalten. Dieser ist darauf zurückzuführen, daß die Prioritätskenngrößen bei ihrer Darstellung auf dem Bildschirm des Computers in Prozent angegeben werden. Für die Entscheidung, welcher Verbraucher 1, 2, 3 aufgrund der jeweiligen Prioritätskenngrößen zugeschaltet werden soll, ist ein derartiger Faktor ohne Bedeutung, wenn alle Verbraucher 1, 2, 3 mit dem gleichen Faktor beaufschlagt sind.

Allerdings hat ein solcher Faktor bei einer teilweise digitalen und teilweisen analogen Schaltung für die Steuereinrichtung 8 Vorteile, da durch diesen die Prioritätskenngrößen in einem weiten Bereich als ganze Zahlen darstellbar sind und dann auf eine schaltungsmäßige Verknüpfung von digital dargestellten reellen Zahlen verzichtet werden kann.

In dem angegebenen Ausdruck ist eine mit der Zeit im Wert ansteigende Exponentialfunktion angegeben. Dies würde a priori nicht erwartet werden, da der Energieverlust eine zeitlich abfallende Funktion ist. Deshalb würde der Leistungsverlust zur einfachsten erfindungsgemäßen Verwirklichung der Lösung der Aufgabe des abgeschalteten Verbrauchers 1, 2, 3 ermittelt und die Abfrage nach dem höchsten Leistungsbedarf eines Verbrauchers 1, 2, 3 auf eine kleinste Kenngröße mit exponentiellem Abfall gerichtet. Bei einer derartigen Lösung könnten außerdem verschiedene Typen von Verbrauchern 1, 2, 3 durch unterschiedliche Skalenfaktoren berücksichtigt werden.

Da die Prioritätskenngröße so definiert wurde, daß die Entscheidung darüber, welcher Verbraucher zu- oder abgeschaltet werden soll, auf die höchste Prioritätskenngröße gerichtet wird, läßt sich die bei diesem Beispiel verwendete Prioritätskenngröße beispielsweise als Reziprokwert dieser Kenngröße auffassen.

Im vorliegenden Fall des Ausführungsbeispiels nach Anspruch 1 wurde ein schon bestehendes komplexes Programm verwendet, welches das Zu- und Abschalten eines Verbrauchers 1, 2, 3 über eine Abfrage auf das Maximum der Prioritätskenngröße steuert. Deshalb ist es zweckmäßig, wie im oben angegebenen Ausdruck für die Prioritätskenngröße, gleich den Reziprokwert des exponentiellen Verlaufs zu nehmen.

Da die Abfrage für das Zu- und Abschalten gemäß der Prioritätskenngröße unabhängig von einer Konstanten ist, kann bei Bildung der Prioritätskenngröße von allen Verbrauchern 1, 2, 3 eine beliebige Zahl abgezogen werden. Dies wurde im angegebenen Ausdruck auch durch die Subtraktion einer 1 von der Exponentialfunktion angewandt. Dadurch ergibt sich bei  $W/S = 0$  eine Darstellung für die Prioritätskenngröße, deren Wert bei  $t = 0$  verschwindet. Dieses Verhalten gibt mathematisch sinnvoll wieder, daß die Prioritätskenngröße zum Einschalten gleich nach dem Ausschalten einen verschwindenden Wert hat.

Mit der zusätzlichen Größe  $W/S$  im oben angegebenen Ausdruck wird berücksichtigt, daß für unterschiedliche Verbraucher 1, 2, 3 unterschiedliche Anforderungen beim Ausschalten und Einschalten zweckmäßig sein können. Eine Friteuse speichert die zugeführte Energie

im wesentlichen im Fritieröl, so daß es für das Energiespeicherverhalten auch auf dessen Art und Alter ankommt, während das Energiespeicherverhalten einer Kochplatte von derartigen Faktoren im wesentlichen 5 unbeeinflusst ist.

Um derartige Unterschiede berücksichtigen zu können, enthält der oben angegebene Ausdruck den Summanden  $W/S$ . Mit  $S$  wurde eine sogenannte Steilheit  $S$  zur Unterscheidung der Verbraucher eingeführt, die auch noch in anderen Programnteilen für die Steuerung der Verbraucher 1, 2, 3 Verwendung findet. Beim Ausführungsbeispiel war die Steilheit  $S$  im wesentlichen umgekehrt proportional zu  $t_{ref}$  und bedeutet somit auch eine Gewichtung gemäß der Energiespeicherfähigkeit des Verbrauchers 1, 2, 3.

Der Faktor  $W$  ist dagegen ein frei wählbares Gewicht, das in die Steuereinrichtung 8 eingegeben werden kann, um die Prioritätskenngrößen noch mal speziell auf verschiedene Verbrauchertypen anzupassen. Bei einer versuchsweisen Anwendung des Ausführungsbeispiels wurde beispielsweise einer Friteuse der Wert  $W = 9$  zugeordnet, den Kochplatten dagegen der Wert 2.

Durch Vergleich der Summanden in dem angegebenen Ausdruck wird deutlich, daß die Exponentialfunktion bei sehr großen Werten von  $W/S$  und kleinen Zeiten  $t$  wesentlich weniger zur Prioritätskenngröße als die Größe  $W/S$  beiträgt. Mit dem höheren Wert für  $W$  bei der Friteuse wird also dem Umstand Rechnung getragen, daß durch schlecht zu erfassende Bedingungen, wie dem Zustand des Fritieröls, mit einem eventuell falsch angenommenen Exponentialverhalten kein zu großer Fehler auftreten kann.

Allerdings können derartige Fehler auch vermieden werden, wenn die charakteristische Zeit  $t_{ref}$  über eine Messung bestimmt wird. Bei thermostatgesteuerten Verbrauchern 1, 2, 3 ist beispielsweise eine charakteristische Zeit für das Energiespeicherverhalten durch die Thermostatschaltzeit gegeben, so daß bei deren Messung die Zeit  $t_{ref}$  dieser proportional gesetzt werden kann. Dabei hängt die Proportionalitätskonstante von der Höhe der Temperatur ab, bei welcher er der Thermostat aus- bzw. eingeschaltet wird, und muß entsprechend in die Steuereinrichtung 8 eingegeben werden.

Die Thermostatzeit kann beispielsweise mit Hilfe der Zeitpunkte für die Leistungsanforderung über die Schalteinrichtungen 9, 10, 11, ermittelt werden.

Eine andere Möglichkeit zur Messung der Thermostatzeiten ergibt sich dann, wenn die Steuereinrichtung 8 beispielsweise ein PC ist. Dann kann die erwartete Gesamtleistung auch computerintern aufgrund des Zu- und Abschaltens mittels der Schalteinrichtungen 9, 10, 11 simuliert und die gewünschten Parameter können, wie die Thermostatzeiten, durch Kurvenanpassung an die über die Meßeinrichtung 4 in definierten Zeitintervallen aufgenommene Gesamtleistung bestimmt werden.

Der zeitlich veränderliche Wert der Prioritätskenngröße gemäß dem angegebenen Ausdruck mit  $W/S = 0$  ist in Fig. 2 dargestellt. Dabei ist die Abszisse in Einheiten von  $100 \cdot t/t_{ref}$  dargestellt, bezeichnet also die Zeit in Prozent der bezüglich der Referenzzeit  $t_{ref}$  abgelaufenen Zeit. Es ist deutlich erkennbar, daß die Prioritätskenngröße bei kleineren Abschaltzeiten wesentlich weniger variiert als in der Nähe der charakteristischen Zeit  $t_{ref}$ . Bei Geräten nach dem Stand der Technik würde die Prioritätskenngröße proportional zur Zeit ansteigen, so daß die Prioritätskenngröße bei 50% der charakteristischen Zeit 50% betragen würde. Eine Prioritätskenn-

größe von 50% wird aber bei dem Exponentialverhalten von Fig. 2 erst nach ungefähr 85% der Zeit tref erzielt. Dieser Vergleich zeigt deutlich, daß das Wiedereinschalten eines Verbrauchers 1, 2, 3 bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wesentlich später als beim Stand der Technik erfolgt. Dadurch wird w sentlich effektiver als beim Stand der Technik Energie gespart.

Das Wiedereinschalten wird über die Steuereinrichtung 8 auch aufgrund der näherungsweise Nachbildung der physikalischen Verhältnisse mit Hilfe der Exponentialfunktion zu einem physikalisch sinnvollen Zeitpunkt veranlaßt, so daß insgesamt ein Energieoptimierungssystem, bei dem das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt wird, zu einer wesentlich besseren Minimierung der Gesamtleistung der Verbraucher 1, 2, 3 eingesetzt werden kann.

Das erfindungsgemäße Verfahren wurde vorstehend insbesondere für das Wiedereinschalten eines Verbrauchers 1, 2 oder 3 nach seinem Ausschalten dargestellt. Gleiche oder ähnliche, aufgrund der oben dargestellten Überlegungen zu bildende Ausdrücke können ferner zur Gewinnung von Prioritätskennziffern für das Ausschalten der Verbraucher 1, 2, 3 verwendet werden.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Optimierung der Leistungsaufnahme bei einem Energieverteilungssystem mit mehreren Verbrauchern (1, 2, 3) durch Zu- und Abschalten mindestens eines Verbrauchers (1, 2, 3) mit Energiespeicherverhalten, bei dem eine Prioritätskenngröße für jeden der mindestens einen Verbraucher (1, 2, 3) für die Zeit in der dieser ab- bzw. angeschaltet ist, gewonnen wird und bei Bedarf derjenige Verbraucher (1, 2, 3) mit der höchsten Prioritätskenngröße ab- bzw. zugeschaltet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Prioritätskenngröße zeitlich gemäß einer Funktion verändert wird, deren Verlauf in Abhängigkeit von der Zeit das Energiespeicherverhalten des mindestens einen Verbrauchers (1, 2, 3) zumindest näherungsweise nachbildet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Prioritätskenngröße mindestens einen Summanden mit einem exponentiellen Zeitverhalten aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine charakteristische Zeit für das exponentielle Zeitverhalten gemessen wird.
4. Vorrichtung zur Durchführung mindestens eines der Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, bei der mindestens eine ansteuerbare Schalteinrichtung (9, 10, 11) zum Zu- und Abschalten mindestens eines Verbrauchers (1, 2, 3) mit Energiespeicherverhalten und eine Steuereinrichtung (8) zum Ansteuern dieser Schalteinrichtung (9, 10, 11) vorgesehen sind, die so aufgebaut ist, daß eine Prioritätskenngröße für jeden der mindestens einen Verbraucher (1, 2, 3) für die Zeit, in der dieser ab- bzw. angeschaltet ist, gewonnen wird und die Steuereinrichtung (8) aufgrund der Prioritätskenngröße Signale erzeugt, mit denen bei Bedarf derjenige Verbraucher (1, 2, 3) mit der höchsten Prioritätskenngröße ab- bzw. zugeschaltet wird, gekennzeichnet durch jeweils eine Einrichtung zum Erzeugen einer vom Zeitpunkt des Zu- und Abschaltens des Verbrauchers (1, 2, 3) sich zeitlich ändernden Ausgangsgröße zur Simulation des Energieverlusts und der Energiezunahme

aufgrund des Energiespeicherverhaltens für jeden der mindestens einen Verbraucher (1, 2, 3), die den Wert der Prioritätskenngröße mitbestimmt.

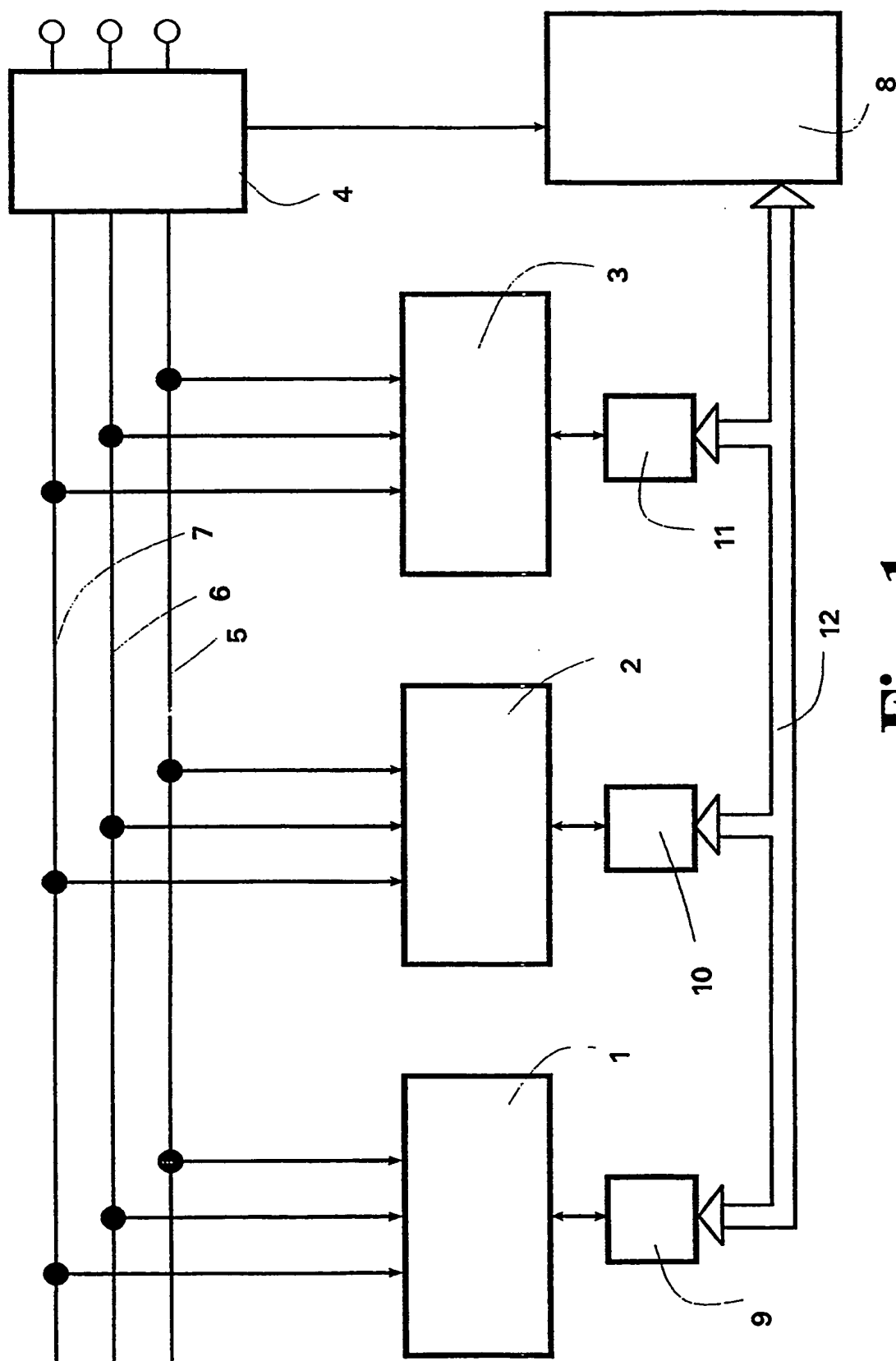
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung die sich zeitlich ändernde Ausgangsgröße exponentiell zunehmend oder abnehmend erzeugt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Meßeinrichtung (4) vorgesehen ist, mit der die Zeitkonstante für den exponentiellen Verlauf ermittelbar ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Verbraucher (1, 2, 3) mit Hilfe eines Thermostats gesteuert ist und die Meßeinrichtung (4) eine Uhr und/oder einen Taktgenerator enthält, mit der oder dem eine über die Meßeinrichtung (4) erfaßbare Ab- bzw. Anschaltzeit des Thermostats erfaßbar ist und die Zeitkonstante proportional zur Ab- bzw. Anschaltzeit des Thermostats gebildet wird.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinrichtung (8) einen PC oder eine frei programmierbare Mikroprozessorschaltung aufweist, in denen die Einrichtung zum Erzeugen der zeitlich veränderlichen Ausgangsgröße und/oder die Meßeinrichtung (4) zur Messung der Thermostatzeit als Teile eines Programms verwirklicht sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



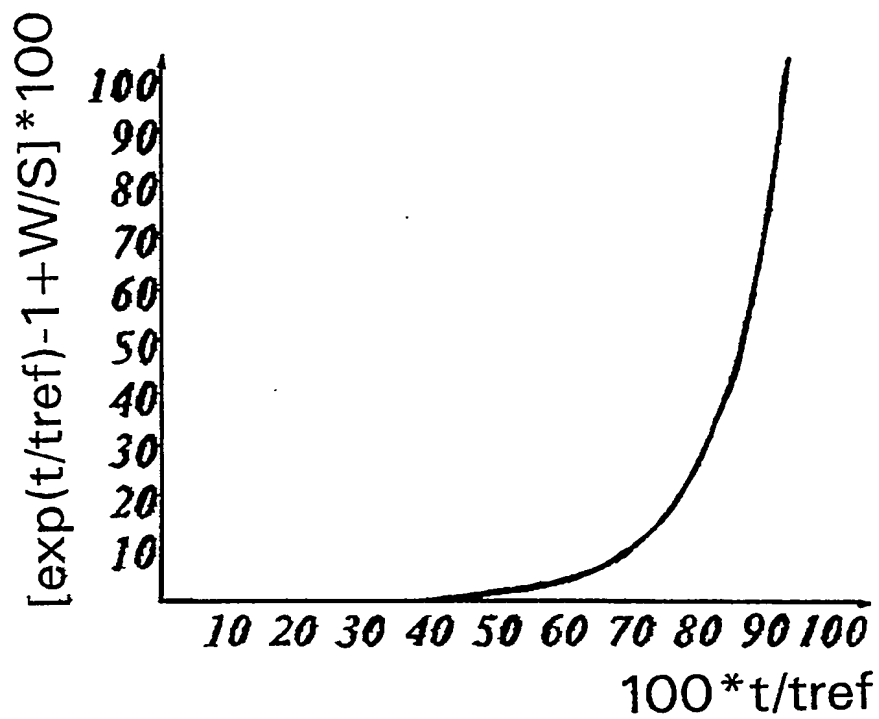


Fig. 2